

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**



Фізико-технічний факультет

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Моделювання структури матеріалів

<u>Освітня програма</u>	Інженерне матеріалознавство
<u>Спеціальність</u>	G8 Матеріалознавство
<u>Галузь знань</u>	G Інженерія, виробництво та будівництво

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства і новітніх
технологій

Протокол № 5 від «12» грудня 2024 р.

м. Івано-Франківськ – 2024

ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Опис дисципліни
3. Структура курсу
4. Система оцінювання курсу
5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу
6. Ресурсне забезпечення
7. Контактна інформація
8. Політика навчальної дисципліни

1. Загальна інформація

Назва дисципліни	Основи теорії тертя та зношування
Освітня програма	Інженерне матеріалознавство
Спеціалізація (за наявності)	
Спеціальність	G8 Матеріалознавство
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Освітній рівень	бакалавр
Статус дисципліни	вибіркова
Курс / семестр	4/7
Розподіл за видами занять та годинами навчання (якщо передбачені інші види, додати)	Лекції – 14 год. Семінарські заняття – 0 год. Практичні роботи – 16 год. Самостійна робота – 60 год.
Мова викладання	українська
Посилання на сайт дистанційного навчання	www.d-learn.pnu.edu.ua https://test-d-learn.pnu.edu.ua/

2. Опис дисципліни

Мета та цілі дисципліни
<p>Мета предмету "Основи теорії тертя та зношування": Формування у студентів знань про сучасними методами моделювання мікроструктур матеріалів методом Phase-Field, що охоплює фазово-польові симуляції еволюції мікроструктури, включаючи процеси затвердіння, ріст зерен, дифузійні процеси та фазові перетворення. Студенти отримають практичний досвід роботи з OpenPhase та інструментами візуалізації (ParaView).</p> <p>Цілі предмету: Студенти повинні знати основні теоретичні аспекти фазових переходів, механізми росту зерен, вплив дифузійних процесів та моделювання теплопередачі. із використанням програмного коду OpenPhase для чисельного аналізу матеріалів та інтерпретації отриманих результатів.</p>
Компетентності
<p>Інтегральна компетентність</p> <p>КІ.01 Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та проблеми, пов'язані з розробкою, застосуванням, виробництвом та випробуванням металевих, неметалевих та композиційних матеріалів та виробів на їх основі, у професійній діяльності та у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики, хімії та механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.</p> <p>Загальні компетентності</p> <p>КЗ.01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p>

КЗ.02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

КЗ.03 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

КЗ.04 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

Спеціальні компетентності

КС.01. Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань.

КС.02.Здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації в галузі матеріалознавства.

КС.06. Здатність використовувати практичні Інженерні навички при вирішенні професійних завдань

КС.08 Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

КС.09 Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем.

КС.10 Здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань.

Програмні результати навчання

РН01. Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.

РН02. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

РН10. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.

РН16 Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення

РН16. Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів.

РН20 Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.

3. Структура дисципліни

№	Тема	Результати навчання	Завдання
1.	Вступ до моделювання методом Phase-Field Огляд основних чисельних методів у матеріалознавстві, зокрема моделювання методом Phase-Field. Теоретичні засади моделювання фазових переходів у металах та сплавах. Введення до OpenPhase: можливості, обмеження, основні принципи роботи.	Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
2	Встановлення та налаштування OpenPhase Покрокова інструкція з компіляції OpenPhase на різних операційних системах. Ознайомлення зі структурою файлів та директорій OpenPhase. Виконання базових симуляцій, інтерпретація вхідних параметрів.	Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
3	Теорія Phase-Field моделей Огляд рівнянь, що описують фазові переходи. Формулювання рівнянь еволюції фазового поля. Визначення термодинамічних потенціалів та кінетичних параметрів у моделях OpenPhase.	Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи

		<p>методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення</p> <p>Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Контрольні запитання
4	<p>Симуляція процесів затвердіння та фазових перетворень</p> <p>Моделювання процесу адитивного виробництва.</p> <p>Симуляція затвердіння магнієво-алюмінієвого сплаву. Аналіз особливостей затвердіння залізвуглецевих сплавів.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.</p> <p>Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.</p> <p>Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів</p> <p>методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення</p> <p>Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
5	<p>Еволюція мікроструктури та ріст зерен</p> <p>Вплив анізотропії міжфазної енергії на форму рівноважних зерен.</p> <p>Кінетика нормального росту зерен та роль градієнтів міжфазної енергії.</p> <p>Аналіз меж зерен та їх впливу на механічні властивості матеріалу.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.</p> <p>Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.</p> <p>Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів</p> <p>методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення</p> <p>Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
6	<p>Дифузія, осадження та багатофазні процеси</p> <p>Дисперсійне зміцнення сполуками NiTi. Евтектоїдне</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи

	<p>перетворення та його вплив на механічні властивості сталі. Дослідження мартенситного перетворення у вуглецевих сплавах</p>	<p>відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
7	<p>Фазові перетворення у спеціальних матеріалах Дослідження особливостей формування структури нікелевих суперсплавів. Чисельне моделювання процесів спікання у рідкій фазі на прикладі твердих сплавів системи «карбід вольфраму-кобальт». Твердофазове спікання керамічних та металокерамічних матеріалів.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
8	<p>Теплопередача та течії у середовищах Вплив теплопередачі на мікроструктурну еволюцію. Формування пінистих матеріалів: взаємодія фаз та механічні характеристики. Роль конвекції та термодинамічних градієнтів у формуванні структури.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання

		інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.	
--	--	----------------------------------------------------------------	--

4. Система оцінювання курсу

Накопичування балів під час вивчення дисципліни	
Види навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Лекція	20
Семінарські заняття	0
Практичні заняття	60
Самостійна робота	10
Індивідуальне завдання	10
Іспит	0
Максимальна кількість балів	100

5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу

Види навчальної роботи	Навчальні тижні (3 семестр)																Разом	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17			
Лекції	4		4		4		4		4									20
Практичні з-тя				10		10		10		10		10		10				60
Самостійна р-та															10			10
Індивідуальні завдання											10							10
Всього за тиждень	4		4	10	4	10	4	10	4	10	10	10		10	10			100

Примітка: не рекомендується на один тиждень планувати кілька форм контролю.

Критерії оцінювання за 100-бальною шкалою:

- *90-100 балів* – Студент вільно володіє навчальним матеріалом; висловлює свої думки; творчо виконує індивідуальні та колективні завдання; самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань; вільно використовує нові інформаційні технології для поповнення власних знань; комунікативні уміння та навички сформовані на високому рівні; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання і оцінити результати власної практичної діяльності; виконує завдання, не передбачені навчальною програмою; вільно використовує знання для розв'язання поставлених перед ним завдань.
- *70-89 балів* – Студент вільно володіє навчальним матеріалом, застосовує знання на практиці; узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускає незначні граматичні помилки у порівняннях, формулюванні висновків, застосуванні теоретичних знань на практиці; за зразком самостійно виконує практичні завдання, передбачені програмою; має стійкі навички виконання завдань.
- *50-69 балів* – Студент володіє навчальним матеріалом поверхово, фрагментарно; на рівні запам'ятовування відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків; знайомий з основними поняттями навчального матеріалу; комунікативні уміння та навички сформовані частково; під час



відповіді допускаються суттєві граматичні помилки; має елементарні нестійкі навички виконання завдань; планує та виконує частину завдань за допомогою викладача.

- *Менше 50 балів* – У студента не сформовані комунікативні уміння та навички; студент допускає велику кількість граматичних помилок, що ускладнює розуміння; студент не володіє навчальним матеріалом; виконує лише елементарні завдання, потребує постійної допомоги викладача.

6. Ресурсне забезпечення

Матеріально-технічне забезпечення	Мультимедіа (відеофайли, електронні ресурси унаочнень програмні засоби OpenPHASE та Paraview)
Література:	
<p>Базова</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Керівництво користувача OpenPhase www.openphase.de 2. Уроки ParaView: www.paraview.org 3. Provatas, N., & Elder, K. (2011). <i>Phase-field methods in materials science and engineering</i>. John Wiley & Sons. https://www.physics.mcgill.ca/~provatas/papers/Phase_Field_Methods_text.pdf 4. I. Steinbach and H. Salama, <i>Lectures on Phase Field</i>. Springer Nature Switzerland, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-21171-3. <p>Додаткова</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. H. Salama et al., "Role of inclination dependence of grain boundary energy on the microstructure evolution during grain growth," <i>Acta Materialia</i>, Vol. 188, 2020, pp. 641-651. DOI: 10.1016/j.actamat.2020.01.003 2. R. Schiedung et al., "Simulation of capillary-driven kinetics with multi-phase-field and lattice Boltzmann method," <i>Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering</i>, Vol. 28, Issue 6, 2020. DOI: 10.1088/1361-651X/ab98df 3. R. Schiedung et al., "Multi-phase-field model for surface and phase-boundary diffusion," <i>Physical Review E</i>, Vol. 96, Issue 1, 2017, 012801. DOI: 10.1103/PhysRevE.96.012801 4. Köhler, U. et al., "The thermally induced interaction of Cu and Au with ZnO single crystal surfaces," <i>Physica Status Solidi B</i>, Vol. 250, Issue 6, 2013, pp. 1222-1234. DOI: 10.1002/pssb.201200773 	

7. Контактна інформація

Кафедра	https://kmint.pnu.edu.ua/
Викладач	Присяжнюк Павло Миколайович доктор технічних наук, професор
Контактна інформація викладача	 pavlo.prysiazhniuk@pnu.edu.ua  Персональна сторінка викладача на сайті кафедри
Політика курсу	
Академічна доброчесність	Дотримання академічної доброчесності засновується на ряді положень та принципів академічної доброчесності, що регламентують діяльність здобувачів вищої освіти та

	<p>викладачів університету:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Кодекс честі Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, Наказ №530 від 27.09.2022 р. “Про введення в дію нової редакції Кодексу честі Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника” ✓ Положення про запобігання академічному плагіату та іншим порушенням академічної доброчесності у навчальній та науково дослідній роботі студентів Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника . ✓ Положення про Комісію з питань етики та академічної доброчесності Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника ✓ Положення про запобігання академічному плагіату у Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника . ✓ Склад комісії з питань етики та академічної доброчесності Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника . ✓ Лист МОН України “До питання уникнення проблем і помилок у практиках забезпечення академічної доброчесності”. <p>Ознайомитися з даними положеннями та документами можна за посиланням: https://pnu.edu.ua/polozhennia-pro-zapobihannia-plahiatu/</p>
<p>Пропуски занять (відпрацювання)</p>	<p>Можливість і порядок відпрацювання пропущених студентом занять регламентується Порядком організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf)</p> <p>Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
<p>Виконання завдання пізніше встановленого терміну</p>	<p>У разі виконання завдання студентом пізніше встановленого терміну, без попереднього узгодження ситуації з викладачем, оцінка за завдання - «незадовільно», відповідно до Порядку організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf)</p> <p>Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
<p>Невідповідна поведінка під час заняття</p>	<p>Невідповідна поведінка під час заняття регламентується рядом положень про академічну доброчесність (див. вище) та може призвести до відрахування здобувача вищої освіти (студента)</p>

	<p>«за порушення навчальної дисципліни і правил внутрішнього розпорядку вищого закладу освіти», відповідно до п.14 «Відрахування студентів» «Положення про порядок переведення, відрахування та поновлення студентів вищих закладів освіти» - ознайомитися із положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні документи/polozhenja/</p>
Додаткові бали	<p>Отримання додаткових балів за дисципліною можливе в разі виконання індивідуальних завдань, попередньо узгоджених з викладачем. Перелік індивідуальних завдань міститься у навчальній програмі до курсу.</p> <p>Також за рішенням кафедри студентам, які брали участь у науково-дослідній роботі (роботі конференцій, студентських наукових гуртків та проблемних груп, підготовці публікацій), а також були учасниками олімпіад, конкурсів, можуть присуджуватися додаткові бали відповідності Порядку організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf)</p> <p>Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
Неформальна освіта	<p>Можливість зарахування результатів неформальної освіти регламентується Положення про визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної освіти в Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника (Редакція 3) (введено в дію наказом ректора № 672 від 24.11.2022 р.) https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні документи/polozhenja/</p>

Викладач

Павло Присяжнюк